

PENGUJIAN KETELITIAN GEOMETRIK PADA MESIN BUBUT EMCOMAT EM 17S MENURUT ISO 1708

Cahya Sutowo, Ery Diniardi, Bayu Indra Praja
Jurusan Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta

Abstrak. Dalam pemakaian sehari-hari, mesin perkakas mengalami deformasi karena jepitan, pengaruh panas dan deformasi karena gaya pemotongan. Oleh karena itu, dengan berjalannya waktu pada umumnya karakteristik proses akan berubah. Perubahan ini bisa berupa pergeseran proses rata-rata (Average Process Level) atau variabilitas proses (Process Variability), untuk itu diperlukan pengujian ketelitian geometrik pada mesin perkakas.

Dalam penelitian ini, akan melakukan pengujian ketelitian geometrik pada mesin bubut EMCOMAT EM 17S, karena ketelitian perpindahan akan mempengaruhi ketelitian ukuran benda, sedangkan ketelitian permukaan referensi, ketelitian putaran, spindle, dan ketelitian gerak linier akan mempengaruhi gelombang permukaan dan kekasaran permukaan, serta ketelitian bentuk seperti ; kesejajaran, ketegak-lurus dan konsentrisitas dari benda kerja. Disamping itu ketelitian benda kerja juga dipengaruhi oleh temperatur lingkungan/suhu ruangan, proses pemotongan, penjepitan benda kerja, pahat dan deformasi akibat gaya pemotongan.

Untuk itu pengujian kelayakan terhadap suatu mesin bubut sangat diperlukan, dari hasil pengujian mesin bubut tersebut tidak layak pakai untuk pekerjaan yang presisi. Karena presisi itu adalah suatu pekerjaan yang tidak boleh terdapat penyimpangan pada saat proses, dari hasil pengujian ketelitian geometrik tersebut terdapat beberapa faktor yang hasil rata-ratanya diluar batasan toleransi atau melebihi toleransi yang ditentukan seperti pada pengujian penyelarasan terhadap bed dan carriage, pengukuran simpang putar.

Kata kunci: mesin bubut EMCOMAT EM 17S

PENDAHULUAN

LATAR BELAKANG

Dalam pemakaian sehari-hari, mesin perkakas mengalami deformasi karena jepitan, pengaruh panas dan deformasi karena gaya pemotongan. Oleh karena itu, dengan berjalannya waktu pada umumnya karakteristik proses akan berubah. Perubahan ini bisa berupa pergeseran proses rata-rata (Average Process Level) atau variabilitas proses (Process Variability) ². Pergeseran tingkat proses rata-rata mungkin disebabkan oleh keausan perkakas potong, sedangkan pembesaran variabilitas proses biasanya diakibatkan karena perubahan sifat bahan benda kerja atau keausan mesin. Pada saat proses akan menghasilkan produk yang kurang bagus, maka mesin harus dihentikan guna dikoreksi (perkakas diganti atau disetel kembali). Untuk itu pengujian kelayakan terhadap suatu mesin perkakas sangat diperlukan. Untuk mengetahui ketelitian geometrik mesin perkakas, maka perlu dilakukan pengujian menurut prosedur yang telah berlaku.

Prosedur-prosedur tersebut terdapat pada: VDI (Jerman), Standar JIS (Jepang), Spesifikasi BAS (Swedia), Spesifikasi VOUSO (Cekoslovakia), Standar GOST (Rusia), Rekomendasi ISO-R 230.

Prosedur yang akan digunakan dalam penulisan adalah Rekomendasi ISO-R 230.

LANDASAN TEORI

Mesin perkakas dapat didefinisikan sebagai mesin yang dapat mengubah energi mekanis menjadi energi termis guna mengdeformasikan dan selanjutnya memotong dan membentuk logam hingga mencapai ukuran dan kualitas yang direncanakan.

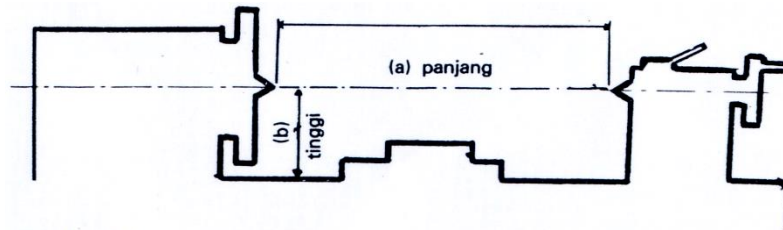
Mesin perkakas memotong logam dalam keadaan dingin, jadi tidak akan terjadi perubahan struktur logam selama proses pemotongan tersebut.

Pada tiap bengkel mesin kontruksi khususnya, dan bengkel - bengkel pengerjaan logam pada umumnya akan selalu terdapat mesin bubut, karena mesin ini banyak gunanya dalam pembuatan atau perbaikan peralatan. Mesin yang gerak utamanya berputar ini berfungsi sebagai pengubah bentuk dan ukuran benda dengan jalan menyayat benda

tersebut dengan pahat penyayat. Adapun pokok kerjanya ialah, bahwa benda kerja yang di bubut itu dalam keadaan berputar, sedangkan alat penyayatnya bergerak mendatar atau melintang secara perlahan. Benda kerja tersebut dipasang pada alat jepit, dan penjepit ini dipasang pada poros utama mesin tersebut.

Perputaran mesin itu berasal dari sebuah motor listrik yang dipasang dibawah atau disamping mesin. Kemudian motor tersebut dihubungkan pada poros utama tadi dengan sebuah atau beberapa buah ban bila motor berputar poros inipun akan ikut berputar dan membawa benda kerja ikut berputar.

Bentuk dan ukuran mesin bubut itu bermacam-macam dari ukuran kecil sederhana yang terpasang pada bangku kerja sampai kepada ukuran besar dengan perlengkapannya yang lengkap. Tetapi semua itu dasar kerjanya adalah sama.



Gambar 1. Ukuran mesin bubut

Ukuran mesin bubut ditentukan oleh panjang dan tingginya. Panjangnya diukur dari jarak kedua senternya, sedangkan tingginya diukur dari jarak senter terhadap alasnya; dalam kesatuan inci. Ukuran ini menunjukkan kapasitas kerjanya. Misalnya mesin bubut yang berukuran panjang dan tinggi 40" dan 7½", berarti kemampuan kerjanya hanya terhadap benda kerja yang panjangnya 40" dalam sekali penyayatan kearah memanjang, dan 7½" kearah melintang. Lebih dari itu tidak dapat dikerjakan karena gerak pahat dan gerak putar benda kerja terbatas. Meskipun demikian, hal ini pada hakekatnya masih dapat kita kerjakan dengan menggunakan alat khusus.

Jenis dan perlengkapan mesin bubut itu menentukan besar kecilnya dan macam benda kerja yang dikerjakannya. Artinya, bahwa tidak semua benda kerja dapat dikerjakan dengan cara dan menggunakan alat yang sama. Karenanya, mesin bubut selalu dilengkapi dengan peralatan yang membantu terlaksananya kerja mesin tersebut, misalnya alat-alat jepit, penyangga dan lain-lain.

Pada garis besarnya mesin bubut dapat diklasifikasikan dalam 4 kelompok, yaitu mesin bubut ringan, mesin bubut sedang, mesin bubut standar dan mesin bubut beralas panjang. Bagian-bagian terpenting mesin bubut ialah : kepala tetap, kepala lepas, eretan lintang, eretan atas, alas dan lemari - lemari roda gigi.

Definisi Standardisasi

Komite ISO memberikan studi tentang pertanyaan teoritis dan ilmiah mengenai standardisasi (iso/STACO- Komite atas prinsip standardisasi yang telah menggambarkan suatu standardisasi) sebagai berikut :

Standardisasi : Suatu aktivitas yang memberi solusi untuk aplikasi berulang-ulang, ke permasalahan yang utama di dalam lapisan tentang ilmu pengetahuan, ekonomi dan teknologi, yang mengarah pada prestasi dari jumlah maksimum derajat tingkat pesananan di dalam konteks yang telah ditentukan. Biasanya, aktivitas terdiri dari proses perumusan, mengeluarkan dan menerapkan standardisasi.

Suatu manfaat standardisasi yang terpenting adalah menyangkut pantas tidaknya peningkatan jasa dan barang-barang untuk tujuan yang diharapkan mereka.

Ruang Lingkup Standardisasi

Standard Internasional Iso 230-1 memberikan referensi, yang berkenaan dengan, test kedua yang praktis dan geometris, secara umum bertujuan untuk mengetes mesin bubut paralel, dan memberikan izin sesuai dengan ketentuan yang berlaku serta tidak menyimpang dari standar Internasional Iso 203-1.

Hal itu berkenaan dengan verifikasi terhadap penelitian yang menyangkut mesin bubut paralel tersebut. Dan tidak berlaku bagi permintaan terhadap uji coba berjalannya mesin yang bersangkutan dengan (getaran, suara berisik, stick-slip gerakan komponerits), atau kepada pemeriksaan karakteristik mesin dengan (mempercepat, memberikan arus balik) yang mana biasanya akan dicek/diuji sebelum diadakan penelitian lebih lanjut.

Keterangan yang telah di persiapkan

- Di dalam Standard Internasional ini, semua dimensi dan Devasi dinyatakan di dalam milimeter dan di dalam inch
- Untuk menerapkan Standard Internasional ini, acuan yang akan dibuat oleh ISO 230-1, terutama terhadap instalasi dari mesin dengan mengadakan pengujian mesin, pemanasan, dan lainnya, juga mengadakan pengujian gerak komponen, uraian dalam uji pengukuran metoda peralatan dan kemudian merekomendasikannya.
- Urutan di mana test yang geometris dihubungkan dengan sub-assemblies dari mesin, dan ini sama sekali tidak menggambarkan order atau pesanan pengujian yang praktis. Dalam rangka membuat pemasangan, penerapan atau instrumen kerja yang lebih mudah, pengetesan didakan di mana saja dalam suatu order atau pesanan.
- Manakala memeriksa suatu mesin itu tidak selalu diperlukan dengan penyelesaian Standard Internasional ini. Itu tergantung kepada pemakai untuk memilih, setuju dengan pabrikan, test tersebut hanya berkenaan dengan contoh yang dapat menarik perhatian seluruh kalangan, tetapi test yang disetujui dan dengan jelas dinyatakan dalam pengujian Standar Internasional manakala pemesanan suatu mesin yang telah teruji sangat bermanfaat nilainya bagi orang yag menggunakannya.
- Test praktis akan dibuat dengan penyelesaian pemotongan sebagai contoh, kedalaman = 0,1 mm (0,004) dengan memberi ruang berkisar 0,1 mm (0,004) dan bukan pemotongan wTth yang keras, yang mana pemotongan secara praktis dapat menghasilkan kekuatan memotong yang dapat diukur.
- Menetapkan toleransi untuk suatu batas ukur yang sudah ditandai di dalam Standard Internasional ini (lihat ISO 230-1: 19, 2.311) haruslah dipertimbangkan dengan seksama bahwa nilai toleransi yang minimum adalah 0,005 mm (0,0002) untuk bubutan presisi dan 0,01 mm (0,0004) untuk mesin bubut lain.

Konsep Umum Ketelitian Geometrik Mesin Perkakas

Mesin perkakas adalah mesin yang digerakan sedemikian rupa sehingga memungkinkan terjadinya proses pemotongan benda kerja oleh pahat potong (tools) ¹. Agar mampu menghasilkan produk yang baik, mesin perkakas tersebut harus memenuhi persyaratan kualitas tertentu. Dengan demikian ketelitian mesin perkakas tidak hanya meliputi ketelitian geometrik, tetapi juga meliputi aspek kinematik dan pengaruh fungsional yang berhubungan dengan proses pemotongan.

Proses pemotongan tersebut akan mempengaruhi ketelitian benda kerja yang dihasilkan, yaitu ketelitian bentuk, gelombang permukaan, kekasaran permukaan, dan ukuran.

Untuk menentukan ketelitian-geometrik yang harus dimiliki oleh mesin perkakas, maka harus diketahui hubungan antara ketelitian geometrik mesin perkakas dan spesifikasi geometrik benda kerja.

Pada prinsip pengetesan ketelitian geometric mesin perkakas melibatkan obyek ukur mandiri dan obyek ukur berpasangan. Pada obyek ukur mandiri penentuan referensi menggunakan alat Bantu, misalnya straight edge pada pengukuran kelurusan gerakan carriage atau dengan menggunakan garis referensi yang dihubungkan dari titik awal pengukuran ke titik akhir pengukuran kerataan dengan menggunakan spirit levels.

Obyek uji yang termasuk obyek ukur mandiri adalah:

- Kelurusan (straightness)
- Kerataan (flatness)
- Rotasi (rotation)

Pada obyek berpasangan, penentuan referensi menggunakan salah satu obyek sebagai referensi saat melakukan pengukuran terhadap obyek pasangannya.

Obyek uji yang termasuk obyek ukur berpasangan adalah:

- Kesejajaran (parallelism)
- Ketegaklurusan (squarness)
- Kesesuaian

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Penyelarasan Terhadap Bed dan Carriage

Penyelarasan Terhadap Bed dan Carriage (Verification of levelling of Slideways) G 1 adalah syarat utama dari setiap pengujian ketelitian geometrik mesin perkakas seperti kedudukan yang benar dari mesin perkakas tersebut. Hal ini diperoleh dengan melakukan penyelarasan., penyelarasan meja mesin bubut terdiri atas:

- a. Penyelarasan meja dalam arah longitudinal
- b. Penyelarasan meja dalam arah transversal³

Pada arah longitudinal penyimpangan yang diizinkan : 10 μm convex untuk jarak antara kedua senter (distance center) $DC < 500$; 20 μm convex untuk $500 < DC < 1000$; dan 30 μm convex untuk $1000 < DC < 2000$ Arti fisik 10 μm convex untuk $DC < 500$ dapat diilustrasikan.

Toleransi untuk kelurusan lintasan lurus hanya diizinkan secara sepihak (unilateral) sehingga lintasan lurus tersebut berbentuk cembung, yang berguna untuk mengkompensasi terhadap berat kepala gerak (tailstock).

Alat ukur dan alat bantu yang digunakan pada pengukuran ini adalah pendatar (spirit-levels), kunci pas, palu plastik, bensin cuci dan tissue.

Kelurusan Gerakan Carriage

Penyimpangan yang diizinkan pada pengukuran kelurusan gerakan carriage (Checking of Straightness of Carriage Movement in a Horizontal Plane) G 2 pada bidang horizontal 15 μm convex untuk (distance center) $DC < 500$, 20 μm convex untuk $500 < DC < 1000$ dan 25 μm convex untuk $1000 < DC < 2000$. Maksud dari 15 μm , $DC < 500$ adalah. penyimpangan kelurusan yang boleh terjadi pada gerak pindah carriage tersebut tidak boleh melebihi 15 μm .

Alat ukur dan alat bantu yang digunakan dalam pengukuran ini adalah: jam ukur (dial indicator), pemegang jam ukur (magnetic dial stand), silinder referensi wash-bensin, dan tissue,

Kesejajaran Gerak Pindah Tailstock

Kesejajaran Gerak Pindah Tailstock Relatif Terhadap Gerak Pindah Carriage (Check of Parallelism of Tailstock to Carriage Movement) G 3

Pengukuran G3 tersebut terdiri atas dua jenis yaitu:

- a. Pengukuran pada bidang horizontal
- b. Pengukuran pada bidang vertikal

Penyimpangan yang diizinkan 30 μm pada bidang vertikal maupun horizontal, maksudnya adalah penyimpangan kesejajaran yang diizinkan tidak boleh melebihi 30 μm pada bidang vertikal maupun bidang horizontal, seperti Gambar 6.

Alat ukur dan alat bantu yang digunakan dalam pengujian ini adalah: jam ukur, magnetic dial stand.

Ketelitian Spindel Utama

Pengujian ketelitian spindel utama (Head stock Spindle) G 4 terdiri atas dua jenis yaitu:

Penyimpangan yang diizinkan 10 μm untuk kesalahan aksial, dan untuk kemiring bidang muka 20 μm termasuk kesalahan aksial.

Alat ukur dan alat bantu yang digunakan : jam ukur magnetic dial stand, dan penyenter.

Eksentrisitas Spindel Utama

Pengujian eksentrisitas spindel utama (Measurement of Run-Out of Spindle Nose Centring Sleeve) G 5, penyimpangan yang diizinkan: 10 μm . Alat ukur dan alat bantu yang digunakan: Jam ukur, magnetic dial stand, senter.

Simpang Putar Sumbu Spindel Utama

Pengujian Simpang putar Sumbu Spindel Utama (Measurement of Run-Out of Axis of Centre) G 6 terdiri atas dua jenis pengujian yaitu:

- a. Pengujian didekat spindel nose.
- b. Pengujian pada jarak 300 mm dari spindel nose.

Penyimpangan yang diizinkan: 10 μm didekat spindle nose dan 20 μm pada jarak 300 mm dari spindle nose. Pada pengujian ini, lubang spindel diwakili oleh mandrel test, karena

jam ukur tidak dapat diterapkan langsung pada lubang spindel. Alat ukur dan alat bantu yang digunakan: jam ukur, magnetic stand, mandrel test.

Kesejajaran Sumbu Spindel Utama Terhadap Gerak Carriage dalam Arah Longitudinal

Pengujian kesejajaran sumbu spindel utama terhadap gerak carriage dalam arah longitudinal (Checking of Parallelism of Spindle Axis to Carriage Longitudinal Movement) G 7 terdiri atas dua jenis pengujian yaitu :

- a. Pada bidang horizontal
- b. Pada bidang vertikal.

Penyimpangan yang diizinkan: $15 \mu\text{m}/300 \text{ mm}$ kedepan pada bidang horizontal. Hal ini berguna untuk mengkompensasi defleksi akibat gaya pemotongan.

Pada bidang vertikal penyimpangan yang diizinkan $20 \mu\text{m}/300$ ke atas, yang berguna untuk mengkompensasi defleksi akibat gaya berat dari benda kerja.

Alat ukur dan alat bantu yang digunakan: jam ukur, magnetik dial stand, mandrel test

Simpang Putar Penyenter

Pengukuran simpang.putar penyenter, penyimpangan(Measurement of Run-Out of Centre) G 8 yang diizinkan: $10 \mu\text{m}$.

Kesejajaran Sumbu Peluncur Luar Tailstock Terhadap Gerakan Carriage

Pengujian kesejajaran sumbu peluncur luar tailstock terhadap gerakan carriage (Checkings of Parallelism of The Axis of The Outside of Tailstock Sleeve to Carriage Movement) G 9 terdiri atas:

- a. Pengujian pada bidang horizontal
- b. Pengujian pada bidang vertikal

Penyimpangan kesejajaran yang ditunjukkan oleh jam ukur pada pengujian ini tidak boleh melebihi $15 \mu\text{m}/300 \text{ mm}$ kedepan pada bidang horizontal dan $20 \mu\text{m}/300\text{mm}$ keatas pada bidang vertikal

Alat ukur dan alat bantu pada prosedur ini adalah : Jam ukur. magnetic dial stand.

Kesejajaran Lubang Konis Peluncur Tailstock Terhadap Gerakan Carriage

Pengukuran kesejajaran lubang konis peluncur tailstock Terhadap Gerakan Carriage (Checking of Parallelism of Taper Bore of sleeve to Carriage Movement) G 10 terdiri atas :

- a. Pengukuran pada bidang horizontal
- b. Pengukuran pada bidang vertikal

Penyimpangan yang diizinkan: $20 \mu\text{m}/300 \text{ mm}$ kedepan pada bidang horizontal, dan $20 \mu\text{m}/300\text{mm}$ keatas pada bidang vertical

Perbedaan Antara Senter Head Stock dan Senter Tailstock

Perbedaan Antara Senter Head Stock dan Senter Tailstock (Checking of Difference in Height Between Headstock and Tailstock Centre) G 11 mempunyai penyimpangan yang diijinkan $0,04/300 \text{ mm/mm}$ tailstock lebih tinggi dari headstock. Hal ini untuk mengkompensasi pengaruh kenaikan temperatur yang terjadi pada head stock.

Alat ukur dan alat bantu yang digunakan: jam ukur, magnetic dial stand, silinder referensi {mandrel between centres}

Ketegak Lurus, Gerak Transversal Peluncur Silang Terhadap Sumbu Spindel Utama

Pengujian ketegak lurus gerak transversal peluncur silang terhadap sumbu spindel utama (Measurement of Squareness of the Transverse Movement of The Cross Slide to The Spindle Axis) G 13 pada bidang horizontal, penyimpangan yang diizinkan $20 \mu\text{m}/300$ arah penyimpangan $\alpha > 90^\circ$. Artinya penyimpangan pada suatu garis sumbu tegak lurus terhadap suatu bidang tidak boleh melebihi $0,02 \text{ mm}$ untuk panjang lintasan pengukuran 300 mm , dan arah penyimpangan harus lebih besar dari 90° .

Alat ukur dan alat bantu-yang digunakan: dial indicator, pemegang, faceplate

Skema:

Ketelitian Lead Screw Karena Keming Pada Bantalan Tekan Pengujian ketelitian lead screw karena keming pada bantalan tekan (Measurement of Periodic Axial Slip Due to Camming of Each Thrush Bearing) G 14, meliputi pengujian slip-aksial periodik.

penyimpangannya tidak boleh melebihi 20 μm . Alat ukur dan alat bantu yang digunakan: Jam ukur, magnetic dial stand.

HASIL PENGUJIAN

PENYELARASAN TERHADAP BED DAN CARRIAGE

1. Jenis pengujian : kelurusan pada arah longitudinal.
2. Alat ukur dan alat bantu yang digunakan : Spirit levels, wash-bensin, tissue

Tabel 1. Data kelurusan bed pada arah longitudinal

Posisi	Arah maju		Arah mundur		Rata-rata
	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	
0 – 1	-2	-4	-2	-4	-3
1 – 2	4	2	4	2	3
2 – 3	3	1	3	1	2
3 – 4	4	2	4	2	3
4 – 5	4	2	4	2	3
5 – 6	4	2	4	2	3
6 – 7	3	1	3	1	2
7 – 8	0	-2	0	-2	-1

Penentuan kesalahan kelurusan slide-ways menggunakan spirit levels :

- a. Mengukur kesalahan individual.
- b. Menghitung kumulatif kesalahan

Garis referensi merupakan koreksi terhadap kesalahan sistematik yang terjadi selama proses pengukuran kelurusan.

$$\tan \alpha = \frac{\text{Penyimpangan titik akhir pengukuran}}{\text{Panjang pengukuran titik terukur}}$$

Penyesuaian = Panjang titik pengukuran x $\tan \alpha$

Penyimpangan = Penyimpangan jam ukur – penyesuaian pada titik ukur yang sama.

Berdasarkan data hasil pengukuran kelurusan gerakan carriage (tabel 4.3.)

1. Panjang lintasan ukur adalah 450 mm.
2. Penyimpangan akhir pada jam ukur adalah 20 μm .
3. $\tan \alpha$ (20/450) = 0,044.

Besarnya penyesuaian tiap posisi dapat dihitung sebagai berikut :

Posisi (1) maka $L_1 \tan \alpha = 50 \times 0,044 = 2,22 \mu\text{m}$

Posisi (2) maka $L_2 \tan \alpha = 100 \times 0,044 = 4,44 \mu\text{m}$

Posisi (3) maka $L_3 \tan \alpha = 150 \times 0,044 = 6,67 \mu\text{m}$

Posisi (4) maka $L_4 \tan \alpha = 200 \times 0,044 = 8,89 \mu\text{m}$

Posisi (5) maka $L_5 \tan \alpha = 250 \times 0,044 = 11,11 \mu\text{m}$

Posisi (6) maka $L_6 \tan \alpha = 300 \times 0,044 = 13,33 \mu\text{m}$

Posisi (7) maka $L_7 \tan \alpha = 350 \times 0,044 = 15,56 \mu\text{m}$

Posisi (8) maka $L_8 \tan \alpha = 400 \times 0,044 = 17,78 \mu\text{m}$

Posisi (9) maka $L_9 \tan \alpha = 450 \times 0,044 = 20 \mu\text{m}$

Penyimpangan Posisi (1) adalah $5 - 2,2 = 2,78 \mu\text{m}$

Penyimpangan Posisi (2) adalah $5 - 4,4 = 0,56 \mu\text{m}$

Penyimpangan Posisi (3) adalah $5 - 6,67 = -1,67 \mu\text{m}$

Penyimpangan Posisi (4) adalah $10 - 8,89 = 1,11 \mu\text{m}$

Penyimpangan Posisi (5) adalah $10 - 11,11 = -1,11 \mu\text{m}$

Penyimpangan Posisi (6) adalah $10 - 13,33 = -3,33 \mu\text{m}$

Penyimpangan Posisi (7) adalah $10 - 15,56 = -5,56 \mu\text{m}$

Penyimpangan Posisi (8) adalah $20 - 17,78 = 2,22 \mu\text{m}$

Penyimpangan Posisi (9) adalah $20 - 20 = 0 \mu\text{m}$

Sumber-sumber penyebab terjadinya kesalahan yaitu :

- a. Kesalahan pada alat ukur; tidak teliti, belum dikalibrasi.
- b. Kesalahan akibat tekanan pengukuran; timbulnya lenturan.
- c. Kesalahan akibat posisi pengukuran yang tidak benar.
- d. Kesalahan akibat pemuaian/pengerutan karena perbedaan suhu.

- e. Kesalahan metoda pengukuran atau kecerobohan pengukur.

Tabel 2. Pengolahan data kelurusan bed pada arah longitudinal

Posisi	Rata-rata (skala)	Perbedaan terhadap posisi I (skala)	Kaki kanan naik/turun relatif thd garis referensi (μm)	Kumulatif tinggi kaki kanan (μm)	Penyesuaian bila titik mula dan akhir nol (μm)	Kesalahan terhadap garis nol (μm)
0	-	-	-	0	0	0
1	-3	0	0	0	8	-8
2	3	6	12	12	16	-4
3	2	5	10	22	24	-2
4	3	6	12	34	32	2
5	3	6	12	46	40	6
6	3	6	12	58	38	10
7	2	5	10	68	56	12
8	-1	-2	-4	64	64	0

Hasil pengujian menunjukkan kesalahan maksimum sebesar 20 μm . Pada daerah operasi yang sering digunakan, lintasan luncur berbentuk cekung (-8 μm), sedangkan daerah kerja yang kurang dipergunakan berbentuk cembung (12 μm). Hal ini menunjukkan bahwa penyimpangan (deviasi) masih berada pada batas toleransi, tetapi arah deviasi slide ways menyimpang. Kesalahan arah deviasi tersebut akibat dari keausan yang terjadi antara bidang luncur dan gerakan carriage pada daerah operasi mesin bubut. Keadaan yang demikian akan mempengaruhi ketelitian benda kerja (produk) yang dihasilkan. Hal ini dapat diperbaiki dengan melakukan hand scraping.

KESEJAJARAN GERAK PINDAH TAILSTOCK RELATIF TERHADAP GERAK PINDAH CARRIAGE

- Jenis Pengujian :
 - Pada bidang horizontal
 - Pada bidang vertikal
- Alat ukur dan alat bantu yang digunakan : dial indicator, magnetic dial stand.

Tabel 4. Data kesejajaran gerak pindah tail stock relatif terhadap gerak pindah carriage

Posisi	Jarak	Pembacaan (mm)		Posisi	Jarak	Pembacaan (mm)	
		Vertikal	Horizontal			Vertikal	Horizontal
0	0	0	0	10	500	-0.01	0.03
1	50	0	0.01	11	550	-0.01	0.03
2	100	0	0.01	12	600	-0.01	0.03
3	150	0	0.02	13	650	-0.01	0.03
4	200	0.01	0.02	14	700	0	0.03
5	250	0.01	0.02	15	750	0	0.02
6	300	0.01	0.02	16	800	0.01	0.03
7	350	0	0.02	17	850	0.01	0.02
8	400	0	0.03	18	900	0	0
9	450	-0.01	0.03	19	950	0.01	0.01

Pada bidang horizontal toleransi yang diizinkan 30 μm . Hasil pengujian, kesalahan maksimum 30 μm , sehingga arah dari deviasi benar dan masih berada pada batas toleransi yang diizinkan.

Pada bidang vertikal toleransi yang diizinkan 30 μm . Hasil pengujian, kesalahan maksimum 10 μm , sehingga arah deviasi benar dan berada pada batas toleransi.

Kepala gerak (tail stock) dan carriage meluncur bersama-sama melalui lintasan luncur yang berlainan, dan tail stock dalam keadaan terkunci.

KETELITIAN SPINDEL UTAMA

1. Jenis Pengujian :
 - a. Kesalahan aksial
 - b. Keming bidang muka
2. Alat ukur dan alat bantu yang digunakan : dial indicator, magnetic dial stand, senter
Hasil pengukuran ketelitian spindel utama :
 - Kesalahan aksial hasil pengujian kesalahan maksimum 10 μm , sedang toleransi yang diperbolehkan 10 μm .
 - Keming bidang muka hasil pengujian, kesalahan maksimum 20 μm , sedangkan toleransi yang diperbolehkan 20 μm termasuk kesalahan aksial.
 - Kesalahan ketelitian spindel utama diakibatkan oleh pemasangan bantalan pada spindel utama yang tidak benar.

EKSENTRISITAS SPINDEL UTAMA

1. Jenis pengujian : eksentrisitas spindle nose
2. Alat ukur dan alat bantu yang digunakan : dial indicator, magnetic dial stand
Hasil pengukuran eksentrisitas spindel utama : 5 μm , sedangkan toleransi yang diizinkan 10 μm .

SIMPANG PUTAR (RUN-OUT) SUMBU SPINDEL UTAMA

1. Jenis Pengujian :
 - a. Didekat spindle nose
 - b. Pada jarak 300 mm dari spindle nose
2. Alat ukur dan alat bantu yang digunakan : dial indicator, magnetic dial stand, mandrel test
Hasil pengukuran simpang putar (run-out) sumbu spindel utama :
Didekat spindle nose : 10 μm , sedang toleransi yang diizinkan 10 μm . Pada jarak 300 mm dari spindle nose : 20 μm , sedang toleransi yang diizinkan 20 μm .

KESEJAJARAN SUMBU SPINDEL UTAMA TERHADAP GERAK CARRIAGE DALAM ARAH LONGITUDINAL

1. Jenis Pengujian :
 - a. Pada bidang horizontal
 - b. Pada bidang vertikal
2. Alat ukur dan alat bantu yang digunakan : dial indicator, magnetic dial stand, mandrel test

Tabel 5 Data dan pengolahan data kesejajaran sumbu spindel utama terhadap gerak carriage dalam arah longitudinal

Posisi horizontal

Posisi horizontal	Jarak (mm)	Penyimpangan (mm)		Penyimpangan rata-rata (mm)	Penyesuaian bila titik mula dan akhir nol (μm)	Kesalahan terhadap garis nol (μm)
		0o	180o			
0	0	0	1	0	0	0
1	50	0	-0.01	-0.005	4,167	-4,172
2	100	0	0.02	0.01	8,333	1,667
3	150	-0.01	0.03	0.02	12,500	7,500
4	200	-0.01	0.04	0.025	16,667	8,333
5	250	-0.01	0.04	0.025	20,833	4.167
6	300	-0.01	0.04	0.025	25	0

Tabel 6 Data dan pengolahan data kesejajaran sumbu spindel utama terhadap gerak carriage dalam arah vertikal

Posisi vertikal

Posisi vertikal	Jarak (mm)	Penyimpangan (mm)		Penyimpangan rata-rata (mm)	Penyesuaian bila titik mula dan akhir nol (μm)	Kesalahan terhadap garis nol (μm)
		0o	180o			
0	0	0	1	0	0	0
1	50	0.01	0	0.005	3,333	2

2	100	0.01	0	0.005	6,667	-2
3	150	0.02	0	0.01	10	0
4	200	0.02	-0.01	0.015	13,333	2
5	250	0.02	-0.01	0.015	16,667	-2
6	300	0.02	-0.02	0.02	20	0

Pada bidang horizontal, hasil pengujian didapatkan kesalahan maksimum 8 $\mu\text{m}/300$ mm, kedepan sedangkan toleransi yang diizinkan 15 $\mu\text{m}/300$ mm kedepan, sehingga arah deviasi benar, dan masuk batas toleransi yang berguna untuk mengkompensasi defleksi akibat gaya pemotongan.

Sumbu spindel merupakan garis semu (imajiner), maka garis imajiner tersebut diwakili oleh mandrel. Pemasangan mandrel diusahakan benar-benar mewakili sumbu spindel utama. Jika hasil dari pembacaan jam ukur menyimpang jauh dari harga yang diizinkan, maka dicoba lagi dengan cara mengikir sedikit permukaan-permukaan yang tajam pada pinggir lubang spindel utama.

Kesalahan pengukuran kesejajaran biasanya diakibatkan oleh pemasangan mandrel (sebagai alat bantu) pada lubang spindel utama tidak benar, seperti ditunjukkan dalam gambar (4.12). Kesalahan ini merupakan kesalahan sistematik yang tidak mencerminkan kesalahan sesungguhnya dan dikompensasi dengan cara memutar mandrel tes tersebut 180o, kemudian pengukuran dilakukan lagi.

SIMPANG PUTAR PENYENTER

1. Jenis pengujian : kesalahan putar senter spindel nose
2. Alat ukur dan alat bantu yang digunakan dial indicator, magnetic dial stand, senter Skema

Hasil pengukuran simpang putar dari senter spindle nose 15 μm , sedangkan toleransi yang diizinkan 15 μm .

Hasil pengujian = total penyimpangan sebenarnya, yaitu penyimpangan yang terbesar dibagi cosinus α . Penyenter mempunyai sudut 45o, maka kesalahan maksimum hasil pengujian adalah $15/\text{Cos } 45^\circ = 21 \mu\text{m}$, sehingga besarnya penyimpangan dari simpang putar keluar dari batas toleransi.

Garis pengukuran harus berimpit atau sejajar dengan garis dimensi obyek ukur. Kesalahan hasil pengukuran akibat kesalahan kosinus (cosien error) yang mana pada garis pengukuran membuat sudut besar α dengan dimensi (karena pengambilan posisi pengukuran yang salah).

KESEJAJARAN SUMBU PELUNCUR LUAR TAILSTOCK TERHADAP GERAK CARRIAGE

1. Jenis pengujian :
 - a. Pada bidang horizontal.
 - b. Pada bidang vertikal
2. Alat ukur dan alat bantu yang digunakan : dial indicator, magnetic dial stand, mandrel test Skema

Tabel 7.Data dan pengolahan data kesejajaran sumbu peluncur luar tail stock terhadap gerakan carriage pada bidang horizontal.

Posisi	Jarak (mm)	Penyimpangan (mm)	Penyesuaian bila titik mula dan akhir nol (μm)	Kesalahan terhadap garis nol (μm)
0	0	0	0	0
1	10	0	-1,667	-1,667
2	20	-0,005	-3,333	-1,667
3	30	-0,005	-5	0
4	40	-0,01	-6,667	-3,333
5	50	-0,01	-8,333	-1,667
6	60	-0,01	-10	0
7	70	-0,01	-11,667	1,667
8	80	-0,015	-13,333	-1,667
9	90	-0,015	-15	0

KETEGAK LURUSAN GERAK TRANSVERSAL PELUNCUR SILANG TERHADAP SUMBU SPINDEL UTAMA

1. Jenis pengujian : pada bidang horizontal
 - a. Alat ukur dan alat bantu yang digunakan : dial indicator, magnetic dial stand, fase plate
 - b. Jenis pengujian pada bidang horizontal
2. Penyimpangan yang diizinkan $20 \mu\text{m}/300 \text{ mm}$, arah penyimpangan $\alpha < 90^\circ$.
Pada bidang horizontal : hasil pengujian kesalahan maksimum $20 \mu\text{m}/160 \text{ mm}$, maka sudut yang dibentuk sebesar $\text{arc tan } \frac{0,02}{160} = 0,025^\circ + 90^\circ = 90,025^\circ$.

KESIMPULAN

Berdasarkan rekomendasi ISO 1708 ketelitian geometrik mesin bubut yang diuji sudah tidak layak lagi dioperasikan untuk pekerjaan yang presisi.

Faktor-faktor yang disimpulkan tidak layak pakai seperti pada hasil penyelarasan terhadap bed dan carriage (G1) penyimpangan kelurusan dalam arah longitudinal sebesar $-8 \mu\text{m}$ (cekung) pada daerah yang sering digunakan dan $12 \mu\text{m}$ (cembung) pada daerah yang jarang digunakan penyimpangan tersebut lebih kecil dari toleransi yang diijinkan menurut ISO 1708, yaitu $20 \mu\text{m}$ convex untuk $500 < DC < 1000$, tetapi arahnya menyimpang. Hal ini menunjukkan bidang lurus tersebut mempunyai gelombang ketidak rataan dan gelombang ketidak lurusan yang berada diluar batasan toleransi.

Pengukuran simpang putar, kesalahan putar yang terukur dari senter spindle nose sebesar $15 \mu\text{m}$ yang berarti total penyimpangan $20 \mu\text{m}$, sehingga kesalahan putar penyenter diluar batas toleransi yang diijinkan.

Sedangkan hasil dari pengujian seharusnya mendapatkan hasil rata-rata didalam batasan toleransi karena pada saat proses akan mendapatkan hasil benda kerja yang akurat/ presisi sesuai dengan standard ISO 1708.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bagiasna, K., *Pengantar Pengujian Ketelitian Geometrik Mesin Perkakas*, Laboratorium Teknik Produksi dan Metrologi Industri, Teknik Mesin, ITB.
2. Rohim, T., *Spesifikasi Geometris Metrologi Industri dan Kontrol Kualitas*, Lab. Metrologi Industri – Jurusan Mesin – FTI – ITB. 2001.
3. Schlesinger. G., *Testing Machine Tools –8th ed*, Pergamon Press.
4. Machine Tools, *ISO Standards Handbook 5*, Second Edition, 1987.
5. B. Hamstead Phillit, *Teknologi Mekanik edisi ke-7 jilid-2*, erlangga